# 面向行业应用的
# 宽带无线通信系统解决方案

胡金龙　黄亮　韩雪

**摘　要**　本文提出了一套面向行业应用的宽带无线通信系统解决方案，对该方案的网络架构、各功能部件及采用的关键技术进行详细阐述，并对该网络系统的典型应用场景和目前针对该方案已取得的研发成果和下一步研发部署进行介绍。

**关键词**　行业应用　宽带无线通信　网络架构

## 1　面向行业应用的宽带无线通信系统背景及需求

无线通信技术在带宽、覆盖、业务支撑能力等方面的快速发展为其在军事通信、应急通信、无线城市等应用领域提供了广阔的应用前景。与一般民用通信系统相比，面向行业应用的宽带无线通信系统具有以下特点：

– 通信环境方面，某些行业应用是处在山区、战场等电磁环境恶劣场景，因此需要对系统的信号处理、无线资源管理等接入技术方案进行优化，并通过一些增补技术提高系统的“动中通”、“扰中通”能力；
– 在网络部署方面，需要构建灵活、易部署、抗毁自愈能力强的网络架构，通过分布式自组织技术增强网络的快速构建能力和机动能力，满足行业应用网络拓扑实时变化的应用需求；
– 某些行业网络不具备提前进行网络规划或者运营过程中通过人力进行网络优化和维护的条件，需要设计一套智能控制管理技术实现网络节点的即插即用和自优化，具体包括节点的自配置、自管理、自优化等技术，从而提高网络的生存能力；
– 在业务支持能力方面，行业应用需要支持短报文、格式化指令、文件、语音、图像、视频、环境态势感知、信息共享等种类繁多的跨媒体业务，某些业务在传输准确性、实时性等方面具有苛刻的要求。因此在无线资源管理技术、端到端服务质量（QoS)保障机制等方面需要进行特殊化设计，为这些业务提供分级的有服务质量保障的端到端传输服务；
– 在某些特殊的战略应用领域，需要通过关键技术研发、设备研制和服务本地化来更好满足安全保密需求，从而有效避免由于技术引进、产品采购、技术服务等造成的保密信息泄漏。

针对以上行业宽带无线通信系统的特殊应用需求，我们需要研制一套包括接入、传输、智能控制管理等在内的一体化解决方案，满足行业通信系统中不同通信环境、不同部署特点、不同业务类型的应用需求。所研制的解决方案必须具有：

– **一体化的解决方案**：包括无线接入、骨干传输、智能控制等；
– **抗干扰能力**：满足不同无线通信环境，特别是干扰环境下的传输需求；
– **高带宽服务能力**：实现接入高带宽和传输高带宽，支持各类业务的传输速率需

求；

- **广覆盖能力**：通过大范围无线接入和分布式多跳传输实现网络的广覆盖；
- **“动中通”支持能力**：支持高移动性，满足机动部署需求；
- **自组织、自愈合能力**：增强网络的抗毁自修复能力；
- **快速部署、自动配置能力**：实现节点即插即用，网络部署无需人工干预；
- **安全传输能力**：通过定制的加解密算法和认证鉴权机制，保证传输的安全性；
- **无缝融合能力**：通过控制网关等系统，支持与卫星系统、互联网等互联互通；
- **跨媒体的业务支持能力**：满足行业网络丰富多样的业务应用需求，同时为各类业务提供端到端的分级服务质量参数保障服务；
- **自主研发、安全保密**：核心技术自主研发，增强设备及网络的战略安全性。

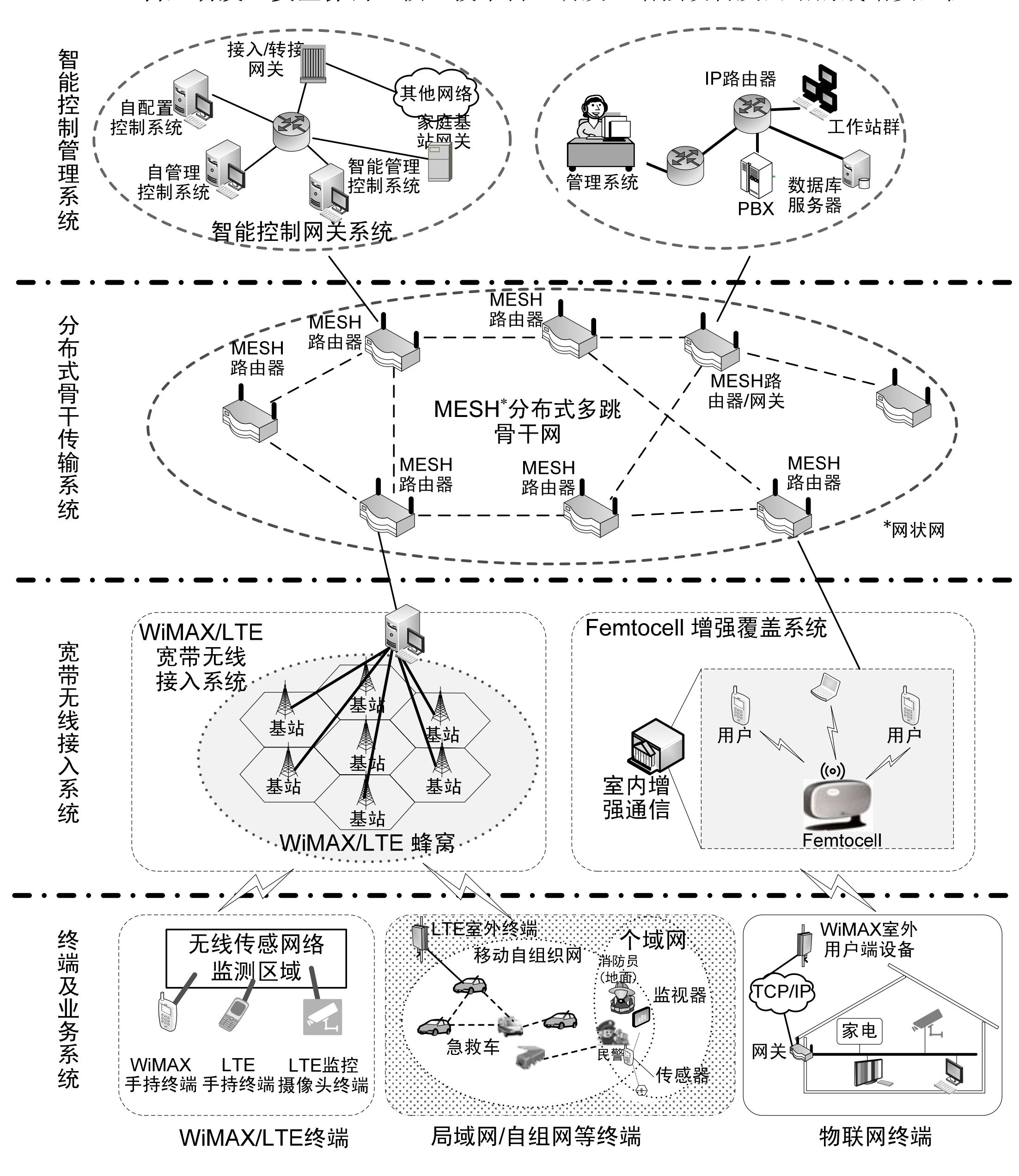



图 1. 面向行业应用的宽带无线通信系统网络架构

## 2 面向行业应用的宽带无线通信系统网络架构及系统概述

面向行业应用的宽带无线通信系统网络架构如图 1 所示，主要包括终端及业务系统、宽带无线接入系统、分布式骨干传输系统和智能控制管理系统四个部分[1]。

**终端及业务系统**直接面向用户。本方案支持多种类型终端，如：WiMAX[1][2]/LTE[2] [3]终端，该类型终端直接接入宽带无线接入系统享受服务；以太网、自组织网（Adhoc）、WiFi[3]、物联网等类型终端，该类型终端通过“有线/无线 IP 连接”的方式将用户业务数据转发给 WiMAX/LTE 客户端设备（CPE，Customer-premises equipment）或室外终端，WiMAX/LTE 终端再通过无线的方式将数据转发给宽带无线接入系统。

**宽带无线接入系统**基于 WiMAX/LTE 技术，为用户终端系统提供高带宽、广覆盖、高移动性支持以及有服务质量参数保障的无线接入服务；同时，本方案采用 Femtocell（毫微微蜂窝）[4]作为增补技术增强网络室内以及“通信死角”的无线覆盖能力。

**分布式骨干传输系统**基于 Mesh[4][5]技术构建，通过无线、分布式、多跳的方式将多个宽带无线接入系统互联，从而扩大整个网络的覆盖范围。同时利用 Mesh 技术无中心、自组织的特点增强网络的抗毁自愈以及快速部署能力，减少网络的维护成本。

**智能控制管理系统**是一个逻辑子系统，其功能分布在接入设备、骨干传输设备以及控制管理设备上，从而实现整个网络的自管理、自配置、自修复、自优化功能，满足行业系统中网络节点即插即用的需求。同时智能管理系统中包括网关设备，用于实现专用网络的集中控制功能以及与其它网络的互联互通。

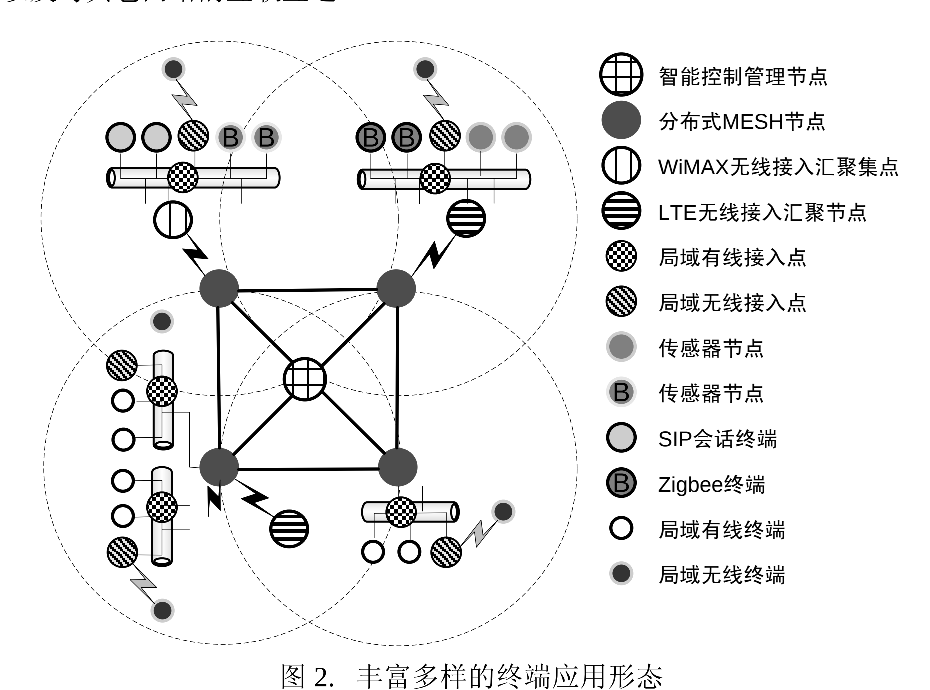



图 2. 丰富多样的终端应用形态

[1] Worldwide Interoperability for Microwave Access
[2] 3GPP Long Term Evolution，第三代伙伴项目（3rd Generation Partnership Project）长期演进计划
[3] Wireless Fidelity, 一种基于 IEEE802.11 标准将个人电脑、手持设备（如 PDA、手机）等终端以无线方式互相连接的技术
[4] 网状网，无线 Mesh 亦称多跳网（multi-hop）。在这种结构中用户无须首先访问一个固定的接入点(AP)，任何无线设备节点都可以同时作为接入点和路由器

# 3　网络部件及关键技术

## 3.1 多形态终端系统

本方案需要兼容多种制式、多种模式的终端，以扩展该方案的应用场景。由于在宽带无线接入系统中采用了基于"全 IP"的 WiMAX 和 LTE 技术，所以除了可以支持标准的 WiMAX、LTE 等通信终端外，还可以支持基于 IP 技术的以太网、自组网、WiFi、ZigBee[5]、SIP[6]等有线、无线终端技术。这些终端通过 IP 技术与 WiMAX/LTE 终端进行互联。WiMAX/LTE 终端作为无线汇聚节点实现这些终端数据的远距离无线传输。典型应用场景如图 2 所示。

## 3.2 宽带无线接入系统

宽带无线接入系统以现有主流宽带无线接入技术为基础，针对行业应用的特殊应用场景进行关键技术研发和设备的优化，满足大范围内固定或者移动用户的宽带无线接入和各类业务应用需求，完成终端及业务系统数据信息的高速传输以及智能控制管理系统控制指令的准确下达。本系统采用 WiMAX 及 LTE 技术实现最后一跳的宽带无线接入，这两种技术具有较高的传输带宽，满足各类业务的传输需求；同时具有广覆盖和高移动性支持，满足终端用户机动性传输需求。此外，在宽带无线接入系统中，我们采用 Femtocell 技术增强室内及"通信死角"区域的无线覆盖，提高网络的服务能力。主要技术包括：

- 基于 WiMAX 技术的宽带无线通信系统及设备：WiMAX 是宽带无线通信的主流技术，其在通信距离、传输速率、移动速度方面有较强的优势，在专网应用、应急通信等行业具有广阔的应用前景。针对各类专网应用特点我们对 WiMAX 设备的协议栈软件、信号处理等部件进行优化，构建满足各类行业应用要求的定制设备。

- 基于 LTE 技术的宽带无线通信系统及设备：LTE 是未来主流的宽带无线通信技术，在网络部署能力、移动性支持能力以及业界支持等方面较 WiMAX 具有更强的优势；在国家大力支持及产业链各厂家的共同努力下，LTE 技术已经逐渐走向成熟。在未来几年内，本专用网络系统将逐渐以 LTE 技术作为主要的接入技术开展研制工作。

- 低成本的毫微微小基站(Femtocell)通信系统：专用系统多具有用户多而分散、通信环境差等特点，本方案采用一种低成本的毫微微小基站设备--Femtocell，通过在营房、办公楼等室内部署，增强室内环境的无线覆盖，实现用户数据的低误码率传输。同时在应急通信等恶劣的通信环境中（例如山区、森林、战场等环境），基于 WiMAX/LTE 等体制的宽带无线通信技术存在覆盖死角，低功耗的便携式 Femtocell 小基站系统可以有效增强特定范围的无线覆盖，在恶劣环境中实现通信的无缝覆盖。

- 增强无线穿透及抗干扰技术：本项目已对增强的无线穿透技术、抗干扰技术进行研究，通过跳频、降频、定向天线等技术提高设备的穿透能力和抗干扰能力，满足不同行业应用的部署需求。

- 设备小型化技术：在军事、应急等通信环境中，用于宽带无线接入传输的通信设备需要满足小型化和快速部署的需求，通过空投、飞艇、无人机等方式可以将被破坏的接入网络快速重构，小型化技术是专用通信领域的一个研究热点。

[5] 一种由飞利浦等厂商联合制定的将家用电器等设备无线联网的标准
[6] Session Initial Protocol，会话发起协议

### 3.3 分布式骨干传输系统

分布式多跳传输系统（Mesh）是本方案满足自组织、抗毁自修复以及灵活部署需求的重要手段。目前的通信方案中，骨干传输系统多基于有线方式（例如光纤通信、电力线通信等等）。在灾难发生的情况下，基于有线方式的骨干系统具有恢复搭建周期长、部署不灵活的缺点。本项目基于分布式 Mesh 技术搭建一个无线的自组织分布式多跳传输通信系统。无线 Mesh 技术是基于 IP 协议的无线宽带传输技术，融合了宽带通信和自组织网络的优势，支持多点对多点的网状结构，具有自组网、自修复、多跳级联、节点自我管理等智能优势。通过这些技术优势可以实现专网应用环境下骨干传输网络的快速部署、自组织管理、多跳广域传输等功能，满足专网系统的应用需求。具体技术包括：

- 分布式组网技术：Mesh 技术的核心是在无线环境下实现分布式多跳传输，如何进行 Mesh 节点之间的分布式组网就成为该系统构建的核心问题。技术关键包括：节点同步技术、分布式资源共享技术、端到端服务质量参数保障技术、多跳路由技术等等。
- 分布式多跳路由技术：路由技术是实现分布式多跳传输的基础，而在应急、军事等通信环境中，无线通信链路环境较差，传统的基于跳数的路径决策算法已经不能满足特殊应用需求。本系统针对专网应用场景设计了一种基于链路状态的分布式多径二层路由算法，以优化 Mesh 设备性能。
- 节点干扰协同技术：与 WiMAX、LTE 等点对点接入系统不同，分布式自组织的 Mesh 网络没有集中控制节点。我们设计了一种干扰协同机制实现对等节点之间的协同传输，减少节点间的互扰，从而满足专网系统不规则组网的应用需求。
- 多接口、多信道技术：本系统的 Mesh 技术主要应用在骨干传输，对系统传输带宽具有较高的要求。本系统采用多接口、多信道技术，同时通过多信道无线资源管理技术实现单个 Mesh 节点的多个接口在不同频点上的同时传输，从而提高网络的系统容量[6]。

### 3.4 智能控制管理系统

在某些特殊的应用环境中，无法安排人员开展节点的安装、调试、维护等工作；同时，在这些场景中，网络拓扑及通信环境变化快，需要通信节点根据网络需求及时进行自管理，因此，急需研制一套控制管理技术对网络进行智能化管理。智能控制管理技术分布在接入设备、骨干传输设备以及控制管理设备上，实现这些设备的自管理、自配置、自修复、自优化等功能，从而实现网络节点的即插即用，扩展本方案的应用环境适应能力，同时减少网络的维护成本。具体技术包括：

- 智能网络控制管理系统：该系统重点实现对终端、接入以及传输设备的开启、关闭、参数配置、智能隔离、负载均衡等控制管理。该设备运行于网络控制中心，通过有线或者无线的方式与边缘 Mesh 节点进行互联。
- 节点自管理、自配置、自修复、自优化技术[7]：在应急通信等专网应用环境中，通信节点的投放是按需、无规则进行的，人力无法到达现场对设备进行管理。因此节点自管理、自配置、自修复、自优化技术就成为本系统通信设备的一个必备功能，包括：节点标识符的自动分配、初始化参数的自动化设置、运行过程中的节点信息/信道参数自适应调整、节点故障情况下的自修复自隔离技术等等。从而实现在无需人工干预的情况下，通信节点在恶劣的通信环境中可以自适应生存。

- 智能网关及外部互联系统：本网络采用的 WiMAX/LTE 及 Mesh 技术基于全 IP 平台，具有较好的扩展能力及与其它系统互联互通的能力。本方案采用网关设备将系统与卫星通信系统、基于 SIP 的 IP 多媒体子系统[7]以及互联网公网系统进行互联，扩展专用系统的应用场景。

# 4 典型应用场景

该方案可以应用在军事通信、智能电网、应急通信、森林防火监控等多种行业领域及“无线城市”建设。同时中科院计算所无线中心（以下简称“无线中心”）已经与有关合作方将已有的研发成果在多个行业领域开展应用。下面列举两种典型的应用场景：

## 4.1 军事应用

典型的军事应用场景如图 3 所示。可通过无人机、飞艇等装备搭载 WiMAX/LTE 基站接入设备和 Mesh 骨干传输设备。搭载的 Mesh 设备组成一个机动的分布式 Mesh 骨干网，实现分布式多跳数据转发。在军队作战或者行进的过程中，每个通信车/舰艇搭载一个 WiMAX/LTE 接入终端设备（汇聚节点），单兵可以通过自组网、WiFi 等手持台接入 WiMAX/LTE 终端设备，也可以通过手持 WiMAX/LTE 终端直接接入 WiMAX/LTE 基站。WiMAX/LTE 终端设备通过宽带无线技术将数据传输给无人机/飞艇搭载的基站接入设备。基站接入设备通过桥接的方式将 IP 数据转发给 Mesh 骨干设备。Mesh 骨干设备通过多跳方式将数据转发给另一个作战部队，从而实现空、地、海一体化作战。

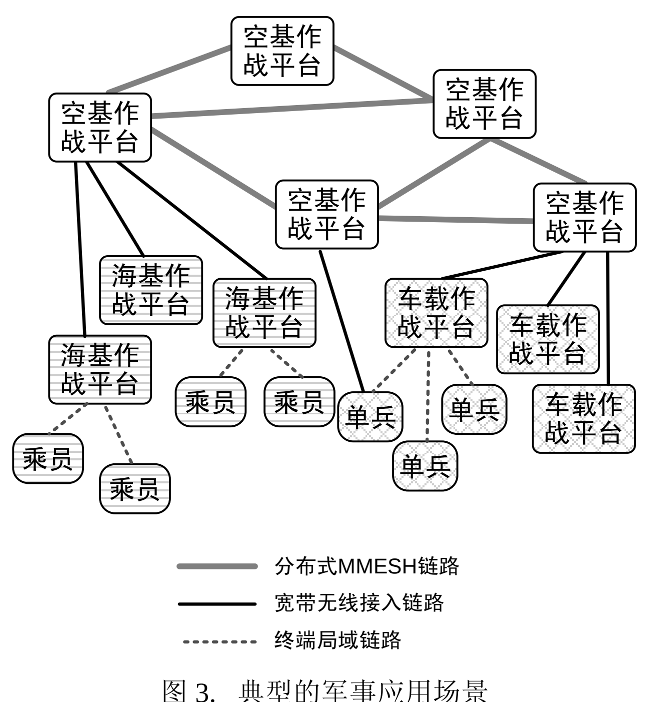


图 3. 典型的军事应用场景

## 4.2 智能电网应用

本专网系统可以为构建一套低成本、快速部署的面向信息采集、智能控制管理的智能电网通信系统提供支撑。在本系统中，通过 WiMAX/LTE 宽带通信技术快速实现电网运行数据的全面采集和实时共享，同时可以支撑电网设备实时控制、智能调节等功能，实现发电系统和用电系统的输入输出平衡，避免因为数据不一致造成的设备损坏。另外，可以利用 WiMAX/LTE 的高带宽特性，进行电网故障现场实时视频数据的回传，协助电网控制中心对电网设备受灾情况、维修难度等情况进行合理分析与评估。同时利用分布式无线多跳 Mesh 技术实现采集数据和控制指令的远距离无线回传，增强电力通信网络部署的灵活性与及时性，降低网络部署的成本。另外可通过控制管理技术实现电网控制中心对电网配用电、变电等系统的实时管控，满足智能化管理需求。

# 5 研发成果及部署

[7] IP Multimedia Subsystem, IMS

从 2004 年开始，无线中心已经针对该面向行业应用的宽带无线通信系统进行研发部署，在宽带无线接入系统、分布式骨干传输系统、智能控制管理系统方面都开展了多项关键技术研究和设备研制工作。主要的研发成果和研发部署如下：

### 5.1 终端及宽带无线接入系统

- 基带芯片及终端设备研制

在对信号处理、无线资源管理等技术开展研发的基础上，无线中心与合作方于 2008 年成功研制了一套 WiMAX 终端解决方案及原型设备。并在 2009 年启动了 LTE 终端基带芯片及终端解决方案的研发，为丰富该解决方案的终端类型提供支撑。

- 无线资源管理关键技术研究及协议栈软件系统研发

无线资源管理技术及协议栈软件系统是通信设备的核心部件，是提高设备性能、满足各类业务服务质量参数分级服务需求的重要保障。无线中心已成功研制了 WiMAX/LTE/TD-SCDMA/ Mesh 等通信协议栈软件系统，为各类通信设备的研制奠定了坚实的基础。

- WiMAX/LTE 基站接入设备研制

无线中心已经成功研制了 WiMAX 宽带无线通信基站接入设备，并基于该设备开展了多项外场试验。目前正在开展小型化 LTE 基站接入设备的研制工作。

- Femtocell 设备研制

无线中心已经成功研制了 TD-SCDMA Femtocell 小基站设备，并基于该设备与多个合作方开展了行业应用。目前正在研制基于 LTE 技术的 Femtocell 设备。

### 5.2 分布式骨干传输系统

- Mesh 分布式组网技术研究

在 Mesh 分布式组网技术方面，无线中心设计了支持多接口、多信道的 Mesh MAC[8]协议、基于链路状态的二层路由协议，以及节点同步、多信道共享、服务质量参数保障等机制；并成功研制了 Mesh MAC、路由协议栈软件系统。另外，研制了一套基于 NS2[9]的 Mesh 网络系统级仿真平台，为 Mesh 网络关键技术的研究和网络的部署提供验证环境。

- 分布式 Mesh 通信设备研制

基于 Mesh 分布式组网技术和协议栈软件系统的研发成果，无线中心正在与合作方共同开展分布式 Mesh 骨干传输设备的研制工作。

### 5.3 智能控制管理系统

- 节点自管理、自配置、自修复、自优化技术研究

无线中心设计了一套智能控制管理信令系统，包括节点标识符/系统参数自动配置、分布式域名服务、智能网络选择与切换、节点运行过程中的参数自优化、节点故障状态下自修复/自隔离控制等技术方案，可初步实现网络节点的即插即用及可管可控。

- 智能网关控制管理设备研制

---

[8] Media Access Controller，媒体接入控制器

[9] Network Simulator version 2, 一种针对网络技术的源代码公开的、免费的软件模拟平台

无线中心经过一年多的研发工作，成功研制了融合 TD-SCDMA、WCDMA 终端及 SIP 终端的统一智能网关解决方案。该网关支持多个标准 3G 终端的接入，为终端提供语音、视频及数据业务。该网关同时支持 SIP 协议，实现专网系统与其它网络的互联互通。

# 6 结束语

在下一阶段的工作中，我们将重点在 LTE 基带芯片及终端解决方案研发、LTE Femtocell 小基站设备研制、分布式 Mesh 设备研制及优化等方面开展技术攻关，力求通过两年的时间完成整个面向行业应用的宽带无线通信系统的研发工作。

**参考文献：**


[1] Whitehead, P., Setp.2000,Mesh Networks: a new architecture for broadband wireless access systems, *IEEE Conference on radio and wireless (RAWCON)*, Pages: 43-46, 10-13

[2] *IEEE Standard 802.16 Working Group*, October 2007, “Standard for Local and metropolitan area networks Part 16: Air Interface for Broadband Wireless Access Systems — Revision of IEEE Std 802.16-2004 as amended by IEEE Std 802.16f-2005 and IEEE Std 802.16e-2005，” *P802.16Rev2/D1*

[3] 3rd Generation Partnership Project,March 2010, Technical Specification Group Radio Access Network, Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA) and Evolved Universal Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN), *Overall description, 3GPP TS 36.300*

[4] Namgeol, O., Sang-wook Han, Hoon Kim, 2010.,System Capacity and Coverage Analysis of Femtocell Networks, *IEEE WCNC*

[5] Ian F. Akyildiz，Xudong Wang，Weilin Wang,March 2005.,Wireless mesh networks: a survey，*Computer Networks*，Volume 47, Issue 4, Pages 445-487

[6] 胡金龙等，2009.02，多接口、多信道 MESH MAC 协议设计，*内部技术文档*

[7] Prehofer, C., Bettstetter, C.,July 2005, Self-organization in communication networks: principles and design paradigms, *IEEE Communications Magazine*



作者简介：

**胡金龙：** 中国科学院计算技术研究所无线通信技术研究中心 助理研究员 hujinlong@ict.ac.cn

**黄 亮：** 中国科学院计算技术研究所无线通信技术研究中心 博士研究生

**韩 雪：** 中国科学院计算技术研究所无线通信技术研究中心 博士研究生